



LES CONCEPTIONS INITIALES EN MÉCANIQUE

Les programmes de physique-chimie invitent le professeur à tenir compte des conceptions initiales des élèves pour construire son enseignement. Cela revêt deux aspects distincts de la pratique du professeur : **permettre l'expression** des idées initiales et élaborer des contenus d'enseignement qui permettent de **prendre en charge** ces conceptions.

Comme il est précisé dans la première partie du présent document sur les conceptions en général, cette prise en charge est corrélée à une analyse des savoirs à apprendre en termes de **modélisation**.

La deuxième partie du document s'attarde plus spécifiquement sur la mécanique, ce qui oblige à distinguer les représentations au sujet de différents objets d'étude : termes d'usage courant (poids, vitesse, action, force...), notions vectorielles, adhérence force-vitesse...

Si les idées initiales des élèves s'expriment en situation, la formulation des conceptions initiales est une reconstruction par les chercheurs en didactique effectuée à partir des productions d'élèves observées dans différentes situations, en y cherchant en particulier les éléments récurrents et cohérents. Les conceptions ainsi formulées ont peu de chance de l'être en l'état par un élève, tant à l'oral qu'à l'écrit. Pour faciliter la lecture, certaines conceptions sont formulées dans le présent document par une simple affirmation. Ces affirmations, souvent incorrectes du point de vue de la physique, sont exprimées en italique.

Quelques généralités sur les conceptions

Depuis une quarantaine d'années, les recherches sur l'apprentissage des sciences se sont intéressées aux connaissances que les élèves utilisent lorsqu'ils sont sollicités pour résoudre des problèmes ou pour interpréter des situations variées, relevant de la vie quotidienne ou de l'enseignement des sciences. Ce n'est pas par hasard que les premiers sujets abordés et maintenant bien documentés relèvent tous de phénomènes « quotidiens » : la mécanique, la lumière, la chaleur, l'électricité puis un peu plus tard le son.

L'objectif principal est de comprendre comment les élèves raisonnent, à partir de quelles connaissances « initiales », pour adapter au mieux les dispositifs pédagogiques et améliorer l'efficacité de l'apprentissage. Ces connaissances au sens large (éléments de savoir, signification d'un terme, modes de raisonnement...) sont dénommées de diverses façons dont les nuances de sens ne sont pas l'objet de ce document : *préconception, misconceptions, théorie naïve, idée initiale, métaphore conceptuelle, raisonnement naïf, conception naïve, modèle tacite, raisonnement spontané ou naïf, conception alternative, raisonnement de sens commun, etc.*

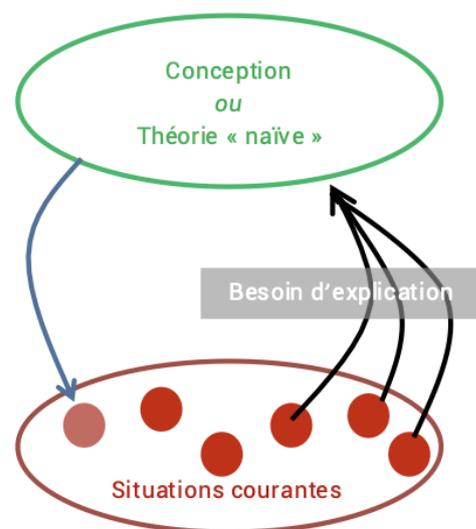
L'hypothèse d'apprentissage sous-jacente relève d'une idée classique (courant du *constructivisme*) : on apprend à partir de ce qu'on sait déjà, l'élève n'est pas vierge de connaissances lorsqu'il arrive en classe. On peut mentionner ici la célèbre citation de Gaston Bachelard qui résume bien ce point de vue :

« Le réel n'est jamais « ce qu'on pourrait croire » mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser. La pensée empirique est claire, après coup, quand l'appareil des raisons a été mis au point. En revenant sur un passé d'erreurs, on trouve la vérité en un véritable repentir intellectuel. En fait, on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui dans l'esprit même fait obstacle à la spiritualisation. [...] Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés. Accéder à la science, c'est, spirituellement rajeunir, c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire un passé. »

G. Bachelard (1938) La formation de l'esprit scientifique, Vrin, pp. 13-14

L'élève a donc des connaissances « antérieures » à son nouvel apprentissage. L'adjectif *initiale* signale une référence à un niveau donné. Une connaissance initiale désigne une connaissance qui potentiellement concerne les mêmes objets d'étude qu'un apprentissage donné et elle peut avoir été apprise quelques années avant grâce à l'expérience commune ou dans le cadre scolaire.

Si les « idées initiales » s'expriment essentiellement *en situation*, elles sont une reconstruction « théorique » à partir des productions d'élèves, et font donc bien partie à ce titre du monde des théories et des modèles. Ces idées sont fondées sur l'observation répétée, sur la signification attribuée à un terme (ou sur sa polysémie, c'est le cas du mot *force*), sur les métaphores utilisées dans la vie quotidienne (l'expression *je n'ai plus la force de* par exemple est métaphorique) ou sur une représentation graphique particulière (pour indiquer qu'un véhicule va vite, on représente couramment des traits derrière le véhicule).



Par induction, et parce que l'être humain a besoin de comprendre ce qu'il observe et ressent, les élèves fondent ainsi dès le plus jeune âge des modèles explicatifs, qui pourront être exploités ultérieurement. Au fur et à mesure des expérimentations quotidiennes, sans que le phénomène ne soit conscient, des idées seront évacuées ou moins fréquemment utilisées car ne correspondant pas aux observations ; d'autres idées peuvent se trouver renforcées par les observations successives. Plusieurs cadres explicatifs peuvent coexister chez un même individu, s'hybrider mutuellement, etc. Ce phénomène de construction/confrontation de systèmes explicatifs reste inconscient mais est suffisamment opératoire pour être à l'œuvre dans des situations d'apprentissage scientifique qui de fait confrontent au réel et souvent à du réel inédit. Toutes ces idées ne sont pas fausses du point de vue scientifique mais parce qu'elles peuvent l'être, elles imposent au professeur qu'il les connaisse pour faire prendre conscience à l'élève des limites de ses conceptions, et qu'il existe d'autres modèles qui ont un pouvoir de description et d'interprétation plus large, plus unifiant et souvent plus précis, sans être « ad-hoc » à la situation.

Faire s'exprimer les idées initiales est d'autant plus facile que la situation génère de la surprise (pour certains élèves, le fait qu'un objet lâché par une personne qui court tombe à ses pieds reste un fait surprenant) : le besoin de compréhension est renforcé. Une conception initiale peut aussi s'exprimer lorsqu'on demande de faire une prévision en la justifiant « à l'aide de ses propres idées » ou d'expliquer une observation. Commencer des questions par « Selon vous », « à partir de vos propres connaissances » peut être un bon moyen d'indiquer à l'élève qu'il peut répondre librement hors de toute évaluation de connaissances ou capacités scolaires.

Quelques conceptions classiques en mécanique

Les travaux sur les conceptions en mécanique sont nombreux. On trouvera quelques références bibliographiques en fin de document. Comme c'est le cas pour toutes les conceptions, leurs manifestations dépendent de l'âge, de chaque individu, de son expérience, des enseignements préalables... Il n'est donc pas possible d'attribuer un âge précis à chacune des conceptions mais on peut aisément faire l'hypothèse que ces idées peuvent s'exprimer dans le cadre de l'apprentissage des classes de seconde, de première et terminale. Certaines conceptions perdurent néanmoins jusque dans le supérieur.

Des contextes d'usages courants à prendre en charge

Un grand nombre de conceptions initiales liées à la mécanique prennent leur source dans l'usage courant, construit en même temps que l'apprentissage de la langue, de termes qui sont également usités dans le champ de la mécanique. Ces usages répétés ont consolidé une signification qui n'est pas toujours en accord avec le sens scientifique du terme. Pour prendre conscience de ces « décalages sémantiques », il est souvent utile de se référer au dictionnaire, qui rend compte de la signification courante ou des significations selon les contextes. Même les significations dites « scientifiques » font parfois apparaître de fortes nuances avec la signification en physique-chimie.

L'enjeu n'est pas ici de rejeter comme étant « faux » ces usages courants mais de les prendre en charge et si possible de les expliciter, en tentant de justifier, lorsque c'est possible, pourquoi on a besoin de préciser la signification en science.

Termes utilisés dans les programmes pour lesquels la nuance avec le sens courant est forte

Poids/masse

Cet exemple classique a fait l'objet d'un enseignement spécifique au cycle 4 mais la prégnance de l'usage courant du mot *poids* fait que la difficulté perdure le plus souvent au lycée. L'objectif est que les élèves puissent comprendre pourquoi il y a nécessité de discriminer les deux concepts en physique (une grandeur intrinsèque propriété de l'objet, pour la masse grave, vs une grandeur d'interaction) et pourquoi ce n'est pas utile dans la vie courante (on « se pèse » toujours sur la même planète et à peu près dans les mêmes conditions). Le professeur passe sans problème d'un contexte d'usage à un autre en adaptant son vocabulaire (le professeur de physique n'annonce pas une valeur en newton lorsque son médecin lui demande son poids) : l'adaptation du vocabulaire au contexte d'usage est un objectif d'apprentissage majeur pour l'élève.

Action/agir

Pour bon nombre d'élèves, la notion d'action est liée à un mouvement et le sujet agissant est un être animé (l'élève lui-même en particulier). Un film « d'action » est un film où il se passe sans cesse quelque chose. L'expression « être en action » signifie qu'on bouge ou qu'on fait quelque chose... Dans le même ordre d'idées, pour certains élèves, l'action n'est possible que par des objets vivants ou animés mais pas par des objets passifs. Ainsi, si je m'appuie sur un mur, j'agis mais comment le mur pourrait-il agir sur moi puisqu'il ne peut pas bouger ? Il n'est donc pas toujours évident pour les élèves de rendre compatibles des situations d'immobilité et la présence d'actions. Plus généralement, les élèves distinguent les objets qui ont un rôle actif (pousser, tirer) de ceux qui ont un rôle passif (retenir, supporter...). Ainsi, toutes les actions ne sont pas équivalentes et retenir n'apparaît pas forcément comme une action : tirer est différent de résister ou retenir... toutes ces actions risquent de ne pas être reconnues comme telles.

Mouvement/immobilité

Les concepts de mouvement et de repos ou d'immobilité sont deux concepts totalement étrangers pour beaucoup d'élèves même si en cinématique on a tendance à considérer l'immobilité comme un cas particulier de mouvement. Par ailleurs, le terme *repos* est quelque peu problématique, car il évoque dans la vie courante le sommeil ou l'inactivité : dans un véhicule (train, voiture, avion), on peut être en mouvement tout en étant au repos...

Système vs objet

Le terme *système* a une forte polysémie qui fait souvent penser à quelque chose de compliqué (dispositif, machine...). Lorsqu'on parle d'un système mécanique dans la vie courante on fait généralement référence à un petit dispositif matériel, plus ou moins complexe, qui génère du mouvement... L'usage en physique n'est pas naturel en début d'apprentissage. Passer d'objets au mieux observables au pire imaginés à un système constitue une étape essentielle de la modélisation et on a tout intérêt à la présenter comme telle. Il s'agit bien de « découper » ce qui est observable. À ce titre, faire d'un *objet* un *système* n'est pas toujours évident au regard des traits caractéristiques d'un objet pour certains élèves. Un objet, dans la vie courante, est quelque chose d'inanimé qu'on peut déplacer, prendre, délimiter. Ainsi, il est parfois difficile, pour ces élèves, de considérer qu'une planète, un être vivant ou de l'eau puissent être des objets : cela pourra poser problème dans le repérage des objets agissant sur un autre objet.

Force

L'usage du mot *force* et de l'adjectif *fort* se fait dans de nombreuses expressions courantes : « je n'ai plus de force », « je n'ai pas la force de », « il faut lancer ou serrer plus fort » sans parler des usages figurés comme « il faut être fort mentalement ». On voit ainsi que l'on a coutume d'utiliser le mot *force* aussi bien pour désigner l'énergie que, parfois, la vitesse.

Par ailleurs la force est rarement vue comme une grandeur caractérisant une action mais plutôt comme caractéristique d'un objet : « *La force de la masse vers le haut* », « *la masse a de la force vers le haut, sans ça comment tiendrait-elle en l'air en haut de la trajectoire ?* » (Viennot, 1989) : on rencontre souvent des expressions « hybridées » telles que « la force du poids ». Même après enseignement, la force *exercée par X sur Y* devient rapidement la force *de X sur Y* puis la force *de X*. Cette propriété de la force comme caractérisant une action et non un objet invite, pour les apprentissages initiaux sur le sujet, non seulement à faire l'effort de toujours préciser dans le langage oral ou écrit « force de X sur Y » mais également de se contraindre à l'écriture. Certains usages courants sont proches de l'usage en physique

(« appuie plus fort » par exemple) mais le professeur a tout intérêt à bien distinguer les usages courants problématiques, majoritaires, de ceux sur lesquels il peut s'appuyer pour son enseignement. Au-delà de ce repérage, il est pertinent d'expliciter ces nuances de sens. On peut remarquer ici que le terme *énergie* pose à peu près les mêmes types de problèmes.

Direction vs sens

Cette distinction courante, assez spécifique de la langue française entre *direction* et *sens* en physique génère quelques conflits avec les usages courants. Lorsqu'on est perdu, on demande sa direction (et non son sens) alors qu'on attend bien une direction et un sens. L'usage courant n'est d'ailleurs pas totalement stabilisé : lorsque la direction ne fait pas de doute dans la vie courante (sur un boulevard ou sur une ligne de métro par exemple) on demande aussi bien dans quel sens on doit aller que dans quelle direction...

Accélérer/accélération

Ce terme fera l'objet d'un paragraphe spécifique ultérieur mais la nuance de signification est ici très grande entre usage courant et usage scientifique. Dans la vie courante *accélérer* (le verbe est préféré au substantif) signifie augmenter sa vitesse et éventuellement dans certains cas appuyer sur la pédale d'accélérateur...

Le point matériel, un élément qui relève du modèle

Au lycée, l'étude des mouvements se réduit à l'étude du mouvement d'un point choisi du système, auquel on affecte la masse du système. Le centre de masse est introduit à partir de la classe terminale. Cette notion de point matériel relève donc du monde des modèles mais le « remplacement » du système peut poser des problèmes aux élèves. En effet, choisir d'étudier un point du système (ou son centre de masse) et remplacer le système par un système ponctuel ne conduit pas aux mêmes conclusions. Pour certains élèves, le système étudié devient un point : il n'est alors plus soumis à aucun frottement ou ne peut plus subir aucune rotation. Cette difficulté, qui résulte d'une confusion entre le monde des modèles et le monde des objets, doit pouvoir être anticipée par le professeur.

Exemple d'interaction entre une professeure et quelques élèves en classe de seconde en 2001 lors d'une correction d'activité sur cette question

Il s'agit de repérer les informations perdues lorsqu'on choisit de repérer le mouvement d'une balle de tennis par son centre.

Professeure : ... donc balle de tennis, si je la remplace par son centre / alors Johann qu'est-ce que vous voulez dire (?)

J : L'information perdue, c'est la rotation de la balle.

Professeure : Alors la rotation de la balle il faudrait préciser.

Y : sur elle-même

Professeure : voilà

J : Sur elle-même

Professeure : rotation de la balle sur elle-même. [...] bien, ça effectivement ça me paraît quelque chose d'intéressant. Est-ce que/ qu'est-ce que vous avez mis d'autres (?) Alors/

J : J'avais mis aussi le la vitesse.

Professeure : Mais quelle vitesse quelle vitesse (?)

J : la vitesse de la balle parce que quand on se concentre.

[...]

Professeure : Quand un joueur fait un ace, qu'on vous dit 200 km/h.

J : La balle elle va toujours vite, ça c'est sûr mais quand on a un point sur la balle.

F : Ouais, mais elle va toujours à la même vitesse.

L : C'est pareil, de toute façon.

Professeure : Alors, si c'est-ce que vous voulez me dire c'est que tous les points de la balle n'ont pas forcément la même vitesse.

Y : Non mais le fait qu'elle soit moins grosse, ça va peut-être (... ?)

Professeure : Je vois que vous faites toujours la même confusion/ nous ne changerons pas d'objet/ La balle c'est toujours la balle simplement on veut remplacer la balle, mais c'est dans notre tête qu'on veut remplacer la balle, mais c'est dans notre tête qu'on la remplace la balle par son centre et on regarde si on fait cette opération-là quelles informations on perd sur cette balle.

Au sujet des grandeurs vectorielles de cinématique

De façon générale, les élèves peuvent avoir du mal à conceptualiser vitesse et accélération comme des grandeurs vectorielles : en effet tel n'est jamais le cas dans la vie courante.

Si l'aspect scalaire est le seul présent dans la vie courante, vitesse et accélération ont de ce point de vue des statuts différents. Un élève est souvent confronté à la vitesse comme grandeur quantifiée, avec une unité courante qui est plus le km/h que le m/s, sans négliger l'influence de l'usage peu précautionneux mais pourtant fréquent de l'unité « kilomètre heure ». L'accélération quant à elle, ne reçoit que rarement une valeur dans la vie quotidienne. Au mieux, les adeptes des performances automobiles sauront qu'on peut comparer les accélérations en donnant la variation de vitesse de 0 à 100 km/h en tant de secondes... C'est donc bien autant l'aspect scalaire que l'aspect vectoriel qui sera à construire pour l'accélération : il s'agira de passer d'une signification qui recouvre généralement un phénomène (tel véhicule accélère) à une grandeur vectorielle.

La vitesse

Pour la vitesse, l'augmentation d'informations lors du passage d'une grandeur scalaire à une grandeur vectorielle (classe de seconde) pourra être assez facilement justifiée : le vecteur indique la direction et le sens du déplacement. Ce sera évidemment plus difficile de justifier l'usage d'un vecteur pour l'accélération (classe de terminale) : le vecteur accélération devra bien être présenté comme un moyen de quantifier la façon dont varie le vecteur vitesse.

Notons par ailleurs que l'usage d'une même notion mathématique (le vecteur) pour représenter une grandeur cinématique comme la vitesse et une grandeur modélisant une action (la force) peut renforcer chez certains élèves l'adhérence force-vitesse (voir plus loin). D'où l'importance des légendes systématiques des vecteurs ou de l'adoption éventuelle d'un code couleur systématique pour représenter chaque type de vecteur : déplacement, vitesse, accélération, force.

L'accélération

Concernant l'accélération, l'usage courant peut interférer fortement avec la construction initiale du concept scientifique et perdurer même après enseignement : bon nombre d'étudiants se laissent aller à affirmer que l'accélération est nulle pour un mouvement circulaire uniforme. Cette idée initiale très résistante vient du fait que même après enseignement c'est la variation de la norme du vecteur vitesse qui semble prégnante pour déterminer l'accélération.

Plus généralement, on peut distinguer plusieurs points de vue issus de la vie courante :

- *Il y a accélération lorsqu'il y a augmentation de la vitesse (on remarque que la durée de variation de vitesse est rarement évoquée dans la vie courante) ;*
- *Il y a accélération lorsqu'on réalise une action qui est « l'accélération » (appuyer sur la pédale d'accélérateur, tourner la poignée d'accélération) : on peut ainsi dans la vie courante accélérer pour garder sa vitesse... mais on peut aussi considérer qu'il faut accélérer pour garder sa vitesse lorsqu'on aborde une pente forte à partir de l'horizontale (position involontairement correcte du point de vue de la physique, car il y a bien accélération au sens physique du fait du changement de direction du vecteur vitesse, mais avec un argument incorrect) ;*
- *Un véhicule prenant un virage à vitesse constante ne subit pas d'accélération.*

Retrouvez éducol sur



Ces différents points de vue, à repérer et à expliciter, permettent surtout à le professeur d'identifier les situations pour lesquelles le point de vue commun et le point de vue scientifique ne conduiront pas à la même description en termes conceptuels.

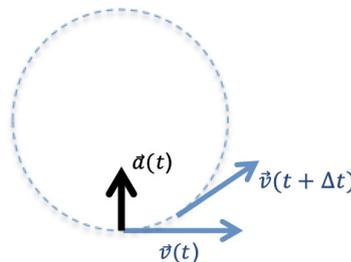
Ainsi une évolution du vecteur vitesse comme ci-dessous ne posera pas particulièrement de problème :



Par contre le cas d'un mouvement rectiligne *décéléré* (mot dédié de la vie courante que les élèves opposent souvent à l'accélération) peut conduire à conflit : dans la vie courante on ne dit pas qu'un véhicule qui freine a une accélération. Dans ce type de cas les élèves peuvent alors étendre la définition en affirmant que l'accélération est négative, niant par là même à nouveau le caractère vectoriel de l'accélération. Passer d'un vecteur de sens opposé au déplacement à une coordonnée négative selon un axe orienté dans le sens du déplacement est une opération qui doit être prise en charge spécifiquement pour éviter les raccourcis tels que « l'accélération est négative ».



Enfin toutes les situations de mouvement uniforme non rectiligne conduisent potentiellement à un conflit avec le sens courant. Dans la vie courante on se contentera de dire que l'objet tourne ou qu'il change de direction. À la rigueur, on évoquera une mystérieuse « force centrifuge » pour décrire ce que le passager d'un véhicule ayant un tel mouvement peut ressentir, mais sans la relier à l'accélération.



Du terme « commun » au terme scientifique plusieurs marches semblent donc nécessaires. Pour faire passer l'élève d'une acception à l'autre il faut justifier une généralisation de la notion, de « augmentation de la valeur de la vitesse » à « variation du vecteur vitesse » (ce qui implique d'accepter qu'une accélération peut aussi bien conserver ou diminuer la valeur de la vitesse que changer sa direction).

La notion de force

Action et force

Dans l'enseignement secondaire la force n'est pas définie en lien avec l'accélération mais comme un concept modélisant une action. Cette construction commencée en cycle 4 implique que les élèves soient capables d'identifier les systèmes agissant sur le système étudié. Si ce repérage est facilité lorsque l'élève est lui-même impliqué (il ressent les actions qu'il exerce, et plus difficilement celle qu'on exerce sur lui dans des situations statiques) ou lorsqu'il peut s'imaginer partie prenante de la situation, cela peut être plus difficile lorsqu'il est de fait extérieur à la situation ou qu'il a du mal à s'y projeter : c'est le cas de l'interaction entre planètes ou entre objets microscopiques par exemple. Dans le cas de l'identification des actions subies par un objet immobile posé sur un support ou retenu, le repérage de la Terre comme « objet » agissant est délicat et ce sont plutôt des phénomènes qui seront cités par les élèves : attraction, pesanteur, gravité...

Exemples d'extraits d'échanges entre élèves

- Deux élèves (classe de seconde en 2002) cherchent à identifier les objets agissant sur une pierre suspendue à un élastique.

L : y a l'attraction y a l'attraction, y a l'élastique, ben oui autrement la pierre elle serait là-haut ou s'il y a pas l'attraction elle serait en train de voler (*manipule la pierre*)

F : pas l'attraction (*regarde la pierre*)

L : ben si l'attraction terrestre (*manipule la pierre*)

F : la lourdeur de la pierre (*montre la pierre*)

L : ben oui ben l'attraction / parce qu'autrement elle serait en train de voler la pierre, parce que là y a (*manipule la pierre et la regarde*)

F : (*souffle*) mais la pierre elle est lourde d'origine (*montre la pierre*)

L : ben ouais qu'est-ce qui la fait lourde (?) c'est l'attraction, là tu mets sur la Lune (*manipule la pierre*)

F : mais je te la mets dans l'espace, tu mets sur l'espace ça vole pas hein, ça descend (*touche la pierre*)

L : tu vas sur la Lune tu la jettes en l'air elle s'envole la pierre (*manipule la pierre*)

F : mais non (*touche la pierre*)

L : c'est parce qu'il y a pas l'attraction (*rit, manipule la pierre*)

F : n'abuse pas, c'est léger ça / ah oui si c'est vrai parce que l'alcool ça vole / j'ai vu dans Tintin

- Cet autre extrait (sur la même tâche) décrit l'échange entre un groupe de quatre élèves (seuls trois prennent la parole dans l'extrait) et le professeur.

Professeur : mais il n'y a que l'élastique qui agit sur la pierre ?

E1 : comme objet oui

Professeur : comme objet oui, parce qu'il y a autre chose à part des objets qui agissent ?

E2 : Il y a la pesanteur

Professeur : ah et la pesanteur, mais la pesanteur c'est quoi ?

E3 : et bah la force qui agit

Professeur : force, c'est quoi ?

E2 : quelque chose qui n'est pas un objet et qui agit sur

Professeur : ah ah c'est quelque chose qui, et bah en fait en physique ce qui agit ce sont les objets, alors c'est quelque chose qui agit et que vous vous qualifier de pesanteur, c'est le résultat de l'action de quel objet la pesanteur ?

E2 : de la Terre

Professeur : alors quel est l'autre objet qui ?

E1 : la Terre

Professeur : et voilà

Le diagramme système-interaction (ou diagramme objet-interaction mentionné dans le programme de cycle 4) est un outil pédagogique visant à faciliter le repérage des interactions et par suite des deux forces qui modélisent l'interaction, dont une seule sera gardée pour l'inventaire des forces exercées sur le système étudié.

Action du sol vs action de la Terre

En début d'apprentissage il n'est pas évident pour tous les élèves de bien distinguer le sol et la Terre dans l'analyse des actions. Cette distinction est en effet dictée par l'analyse des interactions. Ainsi dans la vie quotidienne il est courant s'associer sol et Terre : on peut dire qu'un objet est attiré au sol lors d'une chute. Pour un objet posé sur le sol la distinction est pourtant essentielle si l'on souhaite étudier les forces exercées sur cet objet. Le sens de chacune de ces actions permet de légitimer la distinction entre le système sol (qui reste difficile à délimiter) et le système Terre.

Force et principe des actions réciproques

Dans les situations pour lesquelles le repérage des actions peut s'avérer délicat, les élèves ont tendance à s'aider des mouvements constatés : *s'il y a action, un mouvement de l'agissant doit générer un mouvement (ou une modification, déformation, brisure, etc.) de celui qui subit l'action*. C'est ainsi qu'il est difficile pour les élèves d'admettre que chacun d'entre nous agit sur la Terre, encore moins que nous agissons avec la même « force » que la Terre agit sur nous : pour eux, si c'était le cas, en sautant vers le haut nous aurions le pouvoir de déplacer la Terre. C'est un cas typique où le principe des actions réciproques risque de ne pas être respecté par les élèves. Il arrive même que certains élèves jouant « le jeu scolaire » produisent des réponses en accord avec le principe des actions réciproques tout en continuant à penser que la force qu'ils exercent sur la Terre ne peut pas être de même valeur que la force exercée par la Terre sur eux. Tout en ayant conscience du caractère potentiellement dogmatique du principe des actions réciproques, il convient donc de prendre en charge cette difficulté spécifique.

Principe des actions réciproques et mise en mouvement

Le principe des actions réciproques est encore plus difficile à respecter pour beaucoup d'élèves lorsqu'on passe d'une situation statique à la situation similaire dynamique. Tant que les systèmes ne bougent pas, en particulier si un être humain est impliqué et en dehors des situations évoquées ci-dessus, l'opposition des deux forces restent relativement intuitive.

Dans la situation représentée ci-dessous, tant que la voiture ne roule pas le principe des actions réciproques est non seulement admissible mais même assez intuitif : $\vec{F}_{H/V} = -\vec{F}_{V/H}$. Un élève qui aurait déjà appris le principe d'inertie aurait même tendance à dire « les forces se compensent ».



Dès l'instant où l'action de la personne est suffisante pour faire avancer la voiture, beaucoup d'élèves violent spontanément le principe des actions réciproques : tout se passe comme si seule une action avait été modifiée. Il convient d'insister ici sur la simultanéité des variations des deux actions réciproques, ce que ne permet pas de faire l'usage des termes « action » et « réaction » qui laisse croire que la réaction (l'une des deux forces) serait la conséquence de l'action : on préférera donc parler d'actions *réciproques* dès l'introduction du principe.

En commettant une telle erreur un élève semble être cohérent : c'est parce que les forces ne se compensent plus que la voiture ne reste pas immobile, ce qui semble en accord parfait avec le principe de l'inertie. Cette confusion classique entre première et troisième lois de Newton est évidemment liée à la nature des systèmes étudiés : pour la première loi les forces qui se compensent (ou pas) sont exercées sur le même système, ce qui n'est pas le cas pour la troisième loi de Newton.

Au sujet de l'adhérence force-vitesse

Ce que l'on dénomme généralement par l'adhérence force-vitesse a été largement documentée par la recherche en didactique. C'est une mécanique qui est largement celle de l'époque pré-galiléenne, intuitive, qui perdure même à l'université et qui consiste à associer l'observation d'un mouvement à l'existence d'une force (« motrice » !).

Sans viser l'exhaustivité on peut la résumer en quelques énoncés simplifiés, au risque de la caricature :

- *Pour qu'il y ait mouvement, il faut qu'il y ait une force.*
- *Il y a force s'il y a mouvement : si un objet est en mouvement, il existe une force qui agit sur lui (ou il a une force), dans le sens du mouvement.*
- *À une vitesse constante correspond une force constante.*
- *Plus un objet va vite, plus la force est importante.*
- *Un objet immobile n'est soumis à aucune force.*
- *Si aucune force n'est exercée alors l'objet ne bouge pas.*
- *Si la force varie, alors la vitesse varie aussi de façon similaire.*
- *Un objet plus lourd tombe plus vite.*
- *L'accélération est due à l'augmentation de la force.*

Ces affirmations erronées pourront se manifester ou pas selon la situation proposée.

Des situations d'étude élémentaires permettent de mettre en évidence ces idées initiales. En particulier un simple lancer vertical avec récupération de l'objet présente deux phases sur quatre pertinentes pour mettre en évidence un conflit entre une perception intuitive mais erronée et le point de vue en physique.

	Lancer	Montée	Descente	Réception
Sens du mouvement	Vers le haut	Vers le haut	Vers le bas	Vers le bas
Somme des forces	Vers le haut	Vers le bas	Vers le bas	Vers le haut

On constate que les phases de montée et de réception sont celles qui permettent de mettre en évidence l'adhérence force-vitesse dans le cas de :

- la montée, une majorité d'élèves en début d'apprentissage indique une action vers le haut (puisque le système monte), nommée de différente façon : force des mains, forces de l'élan... voire vitesse ;
- la réception le mouvement se fait vers le bas alors que la somme des forces est vers le haut pour assurer l'arrêt du système. Pour certains élèves lorsqu'on utilise un objet massif qui oblige à faire descendre les mains, il n'est d'ailleurs pas évident que l'action des mains puisse être vers le haut alors que les mains descendent (une autre manifestation de l'adhérence force-vitesse).

Le point culminant de la trajectoire pose d'autres problèmes. Puisque l'objet s'arrête avant de redescendre, beaucoup disent qu'il n'est plus soumis à aucune force.

L'adhérence force-vitesse se manifeste donc dans de nombreuses situations mais il y a alors deux cas distincts, qui ont été largement étudiés par les chercheurs en didactique (Viennot, 1979) :

- il y a compatibilité entre force et vitesse (de même sens ou toutes les deux nulles) : les réponses risquent d'être correctes ;
- il n'y a pas compatibilité : les réponses risquent d'être erronées. Les élèves vont raisonner en termes de « capital force » (*impetus*), sorte d'hybride qui emprunte aux concepts physiques d'énergie, d'inertie, de vitesse, de force mais également à des concepts courants comme l'élan.

Ce capital serait la cause du mouvement, stocké dans l'objet en mouvement et s'usant en même temps que son effet (le mouvement). Ainsi pour un objet en chute suivant une trajectoire parabolique, cette usure expliquerait que l'objet retombe voire ralentisse (dans la phase ascendante mais ce type de raisonnement conduit certains élèves à penser qu'il y a aussi ralentissement dans la phase descendante) ; de la même façon un objet roulant qu'on a lancé sur une table, ralentirait par perte de l'élan qu'on lui a donné initialement.

Bibliographie

- COPPENS N. (2007) Le suivi des conceptions des lycéens en mécanique : développement et usages d'exercices informatisés. Thèse de doctorat. [Téléchargeable avec ce lien.](#)
- GRIESP (coll.) (2018) Réussir en mécanique du cycle 3 au cycle terminal du lycée. [Téléchargeable avec ce lien.](#)
- LEBRUN N. & DE HOSSON C. (2017) Repérer des conceptions d'étudiants : un pas vers l'enrichissement des connaissances professionnelles didactiques d'enseignants-chercheurs de physique, RDST 15, pp. 59-96.
- SALTIEL E. & MALGRANGE J.P. (1979). Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire. BUP n°616, pp. 1325-1355.
- VIENNOT L. (1979). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Paris, Hermann.
- VIENNOT L. (1989). Bilans des forces et loi des actions réciproques : analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. BUP n°716, pp. 951-971.
- VIENNOT L. (1996). Raisonner en Physique, la part du sens commun. Bruxelles, DeBoeck.
- CLEMENT J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. American Journal of Physics, vol. 50 (1), pp. 66-71.
- HESTENES D., WELLS M. & SWACKHAMER G. (1992). Force Concept Inventory. The Physics Teacher, 30, p. 14.
- Pour des séquences structurées par des activités prenant explicitement en charge les conceptions : <http://pegase.ens-lyon.fr>
- BALDY E. et AUBERT F. (2006) Étude de l'apprentissage du phénomène physique de la chute des corps, Didaskalia 27, pp. 109-132.
- ROBARDET G. (1995) Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique, Didaskalia n°7, pp. 129-143.